

# 가시광통신에서 Dimming Level 향상 및 Flicker 감소를 위한 적응-학습 코드할당 기법

이규진<sup>1</sup>, 한두희<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>세명대학교 전자공학과 교수, <sup>2</sup>한라대학교 ICT융합공학부 교수

## Adaptive-learning Code Allocation Technique for Improving Dimming Level and Reducing Flicker in Visible Light Communication

Kyu-Jin Lee<sup>1</sup>, Doo-Hee Han<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Professor, Department of Electronic Engineering, Semyung University

<sup>2</sup>Professor, Department of ICT Convergence Engineering, Halla University

**요약** 본 논문에서는 가시광 통신시스템의 조명과 통신의 기능을 동시에 사용할 때, 조명의 Dimming Level 향상과 Flicker 현상을 줄일 수 있는 기법에 대해서 제안한다. 가시광 통신은 통신과 조명의 성능을 함께 만족해야 한다. 그러나 기존의 Data Code Mapping 방식은 전체 조명의 밝기를 감소시키는 결과를 나타낸다. 이는 조명의 성능 저하와 Flicker 현상을 유발한다. 이를 해결하기 위해, 본 논문에서는 전송 알파벳에 대해서 binary code 할당하고, 문자열에 알파벳의 발생 빈도율에 따라 할당된 binary code를 최적화하여 매칭 시키는 적응 학습형 코드 할당 기법을 제안하였다. 이를 통해, 각각의 문자열의 최대 Dimming level을 유지하면서 동시에 'OFF' 패턴이 연속적으로 발생하지 않도록 코드를 할당하여 통신 기능뿐만 아니라 조명으로써의 역할을 충실히 할 수 있는 기법에 대해서 연구하였다. 성능평가 결과, 전체 통신 성능에 큰 영향을 주지 않으면서, '1'의 발생 빈도가 유의미하게 증가하였고 반대로 연속적인 '0' 빈도율이 감소하여 시스템의 조명 성능이 크게 향상된 것을 보였다.

**주제어** : 가시광통신, 융합기술, 디밍레벨, 무선광통신, 플리커현상

**Abstract** In this paper, when the lighting and communication functions of the visible light communication system are used at the same time, we propose a technique to reduce the dimming level and flicker of the lighting. Visible light communication must satisfy both communication and lighting performance. However, the existing data code method results in reducing the brightness of the entire lighting. This causes deterioration of lighting performance and flicker phenomenon. To solve this problem, in this paper, we propose an adaptive learning code allocation technique that allocates binary codes to transmitted characters and optimizes and matches the binary codes allocated according to the frequency of occurrence of alphabets in character strings. Through this, we studied a technique that can faithfully play the role of lighting as well as communication function by allocating codes so that the 'OFF' pattern does not occur continuously while maintaining the maximum dimming level of each character string. As a result of the performance evaluation, the frequency of occurrence of '1' increased significantly without significantly affecting the overall communication performance, and on the contrary, the frequency of consecutive '0' decreased, indicating that the lighting performance of the system was greatly improved.

**Key Words** : Visible light communication, Convergence technology, Dimming level, Wireless optical Communication, Flicker

\*This paper was supported by the Semyung University Research Grant of 2021

<sup>\*</sup>Corresponding Author : Doo-Hee Han(doohee.han@halla.ac.kr)

Received January 13, 2022

Revised February 6, 2022

Accepted February 20, 2022

Published February 28, 2022

## 1. 서론

최근 고속 데이터 전송을 위해서 발광 다이오드(LED)를 이용한 가시광통신 시스템이 큰 관심을 받고 있다. 가시광 통신(VLC)은 LED 조명을 통하여 빛과 데이터 전송을 동시에 할 수 있는 기술로 기존의 유선 광통신 시스템과 많은 차이점이 있다. 가시광 통신은 넓은 대역폭을 사용하여 시스템을 설계함으로써 기존에 무선으로 사용하던 RF 통신에 비하여 고속으로 데이터 통신이 가능한 시스템이다. 또한, LED 조명이 설치되어 있는 곳에서 통신과 조명이 동시에 사용 가능하여 무선 네트워크를 손쉽게 구성할 수 있으며, 특히 실내 환경에서 외부의 가시광선에 의한 간섭으로부터 자유로워, 다양한 분야에 응용이 가능한 특징으로 인하여 가시광 통신에 대한 원천 연구 및 응용 연구가 활발하게 진행되고 있다. 초기 가시광 통신 연구는 LED를 이용한 가시광 통신 시스템 구축을 통한 실제 전송 기법 등에 대한 연구가 주를 이뤘고, 이후 변조 기법과 동기화 기법 등의 연구가 진행되었다. 기본 통신 시스템에 대한 연구 이후에는 주변 LED 조명 및 장애물로 인한 반사파로 인해 발생하는 간섭에 대한 간섭 제거 기법, 통신 영역 확장을 위한 협력 통신 등의 연구가 진행되고 있다[1,2].

이러한 가시광통신 시스템은 LED 조명을 기반으로 하고있기 때문에, 통신 성능과 더불어 조명의 기능이 매우 중요하다. 만약, 통신을 위해서 조명의 기능을 수행하지 못하게 된다면 이는 가시광통신의 사용에 제약이 발생하게 된다. 특히, 조명의 기능에서 Dimming과 Flicker는 중요한 평가 요소이다[3-5]. 문자형 데이터를 전송하게 되면 binary code를 사용하여 전송하게 되는데, 송신되는 문자열의 문자의 발생 빈도에 따라서 코드셋에 의한 '0'과 '1'의 발생 비율이 다르게 되어 Dimming Level과 Flicker 현상에 많은 영향을 미치게 된다. 이러한 특성을 고려하여, 선행연구인 "가시광 통신 시스템에서 조명/통신 기능을 위한 효과적인 Dimming level control 기법"에서 관련 연구를 진행하였으나, 문자열의 다수의 OFF 패턴에 의한 Flicker 현상에 대한 것은 고려하지 않고 있고, 전송 패턴에 따른 Dimming level의 최댓값을 고려하지 않은 문제점이 있다[6,7].

따라서, 본 논문에서는 가시광 통신 시스템에서 조명과 통신의 기능을 동시에 사용할 수 있도록 향상된

Dimming Level과 Flicker를 줄일 수 있는 기법에 대해서 제안한다. 기존의 가시광 통신에서의 데이터 전송은 물리 계층에서 단순히 '0'과 '1'의 데이터만 전송하였지만, 본 시스템에서는 전송 문자에 대해서 binary code 할당하고, 문자열에 알파벳의 발생 빈도에 따라 할당된 binary code를 최적화하여 매칭 시키는 적응 학습형 코드 할당 기법을 제안하였다. 이를 통해, 각각의 문자열의 최대 Dimming level을 유지하면서 동시에 'OFF' 패턴이 연속적으로 발생하지 않도록 코드를 할당하여 통신 기능뿐만 아니라 조명으로써의 역할을 충실히 할 수 있는 기법에 대해서 연구하였다.

## 2. 가시광통신 시스템 및 채널

### 2.1 가시광 통신 시스템

가시광 통신 기술은 인간 눈에 인지되는 가시광 대역의 파장을 사용하는 통신 기술로, 실제 데이터가 전송되는 가시광 영역의 전송 범위를 직접 인지할 수 있고, RF를 사용하지 않기 때문에, 인체에 무해한 친환경 기술이라고 할 수 있다. 가시광 통신 시스템은 송신단인 광원 센서와 수신단인 수광 센서로 구성되어 있다. 광원 센서는 기존의 조명 인프라를 통해 쉽게 구축이 가능하고, 기존의 네트워크와 연동이 용이하기 때문에 이중 네트워크간의 연결 확장성이 뛰어나다[8,9].

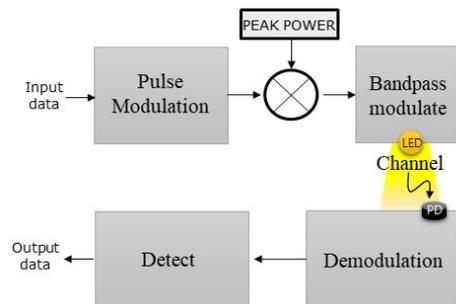


Fig. 1. Visible Light Communication system structure

Fig. 1은 VLC 시스템 모델을 나타낸다. 실내의 가시광 통신 환경은 외부의 영향을 거의 받지 않는 육면체 형태로 모델링 한다. 가시광 통신은 LED 조명 광원을 이용하여 정보를 송신하는데, 송신기 모듈에서 전기신호 처리를 거친 데이터가 LED에서 광 신호로 송신되고, 광자 입자가 실내에서 선형으로 이동한 후 수신부 PD에 수신된다. LED에서 전기신호가 광신호로 바뀌는

데 걸리는 시간은 약 30ns에서 250ns로, 매우 빠른 속도로 on-off 스위칭하기 때문에 데이터 변조를 통한 데이터통신이 가능하다. 실내에서 움직이는 광자의 특성은 가시광선 통신 채널 모델이다. 벽, 천장 또는 바닥에 도달하여 반사된 광자는 에너지가 감소하며 에너지는 이동한 거리만큼 거리의 제곱으로 감소한다[10-12].

### 2.2 가시광 통신 채널

가시광 통신 송신기와 수신기 사이에는 무선 RF 통신과 마찬가지로 송수신기가 직선상에 있는 채널인 LOS(Line of Sight) 채널과 반사파에 의해서 생기는 NLOS(None Line of Sight) 채널 그리고 다른 조명의 광원으로부터 들어오는 배경 잡음으로 구성된다. 다른 조명의 광원들로부터 발생하는 배경 잡음은 백색 가우시안 잡음 모델로 가정하고, 반사파에 의해서 발생하는 광원은 Lambertian로 모델링 하면, 가시광 통신을 위한 채널은 백색 가우시안 잡음(AWGN) 모델이라 할 수 있다. 따라서, 가시광 통신에서의 수신 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R(t) = \gamma S(t) * G(t) + N(t) \quad (1)$$

식(1) 에서,  $R(t)$ 는 가시광통신의 수신 신호를 나타내고,  $S(t)$ 는 전송 신호,  $G(t)$ 는 채널 임펄스 응답,  $N(t)$ 는 AWGN이다. 또한,  $*$ 은 컨볼루션을 의미하고,  $\gamma$ 은 광전 변환효율을 나타낸다[13-15].

### 3. Dimming Level 향상 및 Flicker 감소를 위한 적응-학습 코드 할당 기법

가시광 통신 시스템에서 Binary code를 통하여 문자 데이터를 전송할 때, 기존의 방법으로 전송할 경우 특정 Data Sequence에서 Dimming level이 급감하거나 Flicker 현상이 나타난다. Table 1은 Binary code를 적용한 알파벳 Code Set을 보여준다. Table 1에서 보이는 것처럼, 전송 문자열에 특정 알파벳의 등장 빈도에 따라서 데이터 '0'이 연속적으로 이어질 경우 OFF 패턴의 증가로 인한 Dimming level 감소와 Flicker 현상으로 조명의 성능에 심각한 성능 저하를 야기한다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 문자열에 따른 알파벳의 발생 빈도에 따라 Binary Code를 매칭

시키는 적응 학습형 코드 할당 기법을 제안하였다.

Table 1. Binary code by character

Alphabet	Binary Code	Alphabet	Binary Code
a	011010	n	100111
b	011011	o	101000
c	011100	p	101001
d	011101	q	101010
e	011110	r	101011
f	011111	s	101100
g	100000	t	101101
h	100001	u	101110
i	100010	v	101111
j	100011	w	110000
k	100100	x	110001
l	100101	y	110010
m	100110	z	110011

Table 2는 마태복음 1장의 일부이다. 본 논문에서는 이를 바탕으로 제안 시스템의 알고리즘 및 성능 평가를 진행한다.

Table 2. Matthew 1

Matthew 1
The book of the generation of Jesus Christ, the son of David, the son of Abraham.
Abraham begat Isaac; and Isaac begat Jacob; and Jacob begat Judas and his brethren;
...
(Middle omission)
...
Then Joseph being raised from sleep did as the angel of the Lord had bidden him, and took unto him his wife:
And knew her not till she had brought forth her firstborn son: and he called his name JESUS

마태복음 1장의 문장들을 살펴보면, 문자열에 따른 각각의 알파벳들의 등장 빈도수가 다른 것을 알 수 있다. Fig. 2에 마태복음의 문자들의 발생 빈도를 그래프로 나타내었다. 기존의 Binary code를 그대로 적용하여 전송할 경우, 높은 빈도로 등장하는 알파벳 H나 I는 각각 [1 0 0 0 0 1], [1 0 0 0 1 0]을 전송하게 된다. 이 경우, LED 'ON' Duration보다 'OFF' Duration이 더 길어지게 되고 Dimming level이 감소하게 된다. 또한, '0'이 전송되는 구간이 연속적으로 발생하여 Flicker 현상이 발생하는 구간이 증가하게 된다.

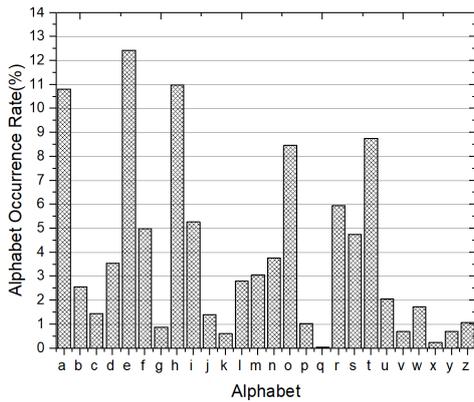


Fig. 2. Alphabet Occurrence Rate(Matthew 1)

이를 해결하기 위한 문자열에 따른 알파벳의 발생 빈도를 기반으로 Code Set을 스위칭하여 할당하는 적응-학습형 코드 할당 알고리즘을 Fig. 3에 나타내었다.

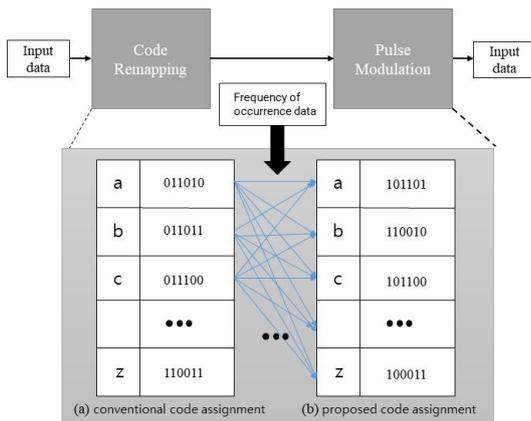


Fig. 3. Proposal System Algorithm

문자열의 알파벳 발생 빈도에 따라 Code Set을 스위칭 할당하는 알고리즘은 다음 순서와 같다.

- i. 알파벳의 발생 빈도율이 높은 순서대로 알파벳을 정렬
- ii. Binary Code의 1의 숫자가 많은 Code Set을 순서대로 정렬
- iii. ii 단계에서 1의 숫자가 같은 Code의 경우 다음의 알고리즘대로 정렬
  - iii-1. '0'이 연속으로 있지 않은 code 우선 정렬
  - iii-2 시작 혹은 마지막에 '0'이 없는 Code
  - iii-3 시작 혹은 마지막에 둘 중 하나만 '0'
  - iii-4 시작 혹은 끝에 '0'이 연속적인 것
- iv. i과 ii의 정렬 순서대로 매칭

상기 알고리즘에 의해 매칭된 Code Set 예시를 Table 3에 나타내었다.

Table 3. Code allocation to improve dimming level and reduce flicker

Alphabet	conventional code assignment	proposed code assignment
a	011010	101101
b	011011	110010
c	011100	101100
d	011101	101010
e	011110	101111
f	011111	101110
g	100000	100010
h	100001	011111
i	100010	011110
j	100011	100011
k	100100	100100
l	100101	100101
m	100110	100101
n	100111	100111
o	101000	011011
p	101001	110001
q	101010	100000
r	101011	011101
s	101100	110011
t	101101	101011
u	101110	100110
v	101111	100100
w	110000	011010
x	110001	110001
y	110010	101000
z	110011	100011

Table 3에서 보이듯이, 자주 등장하는 알파벳의 '1' 발생이 기존에 비해 큰 폭으로 증가하여 Dimming level이 향상되는 효과를 얻을 수 있다. 또한, '0'의 발생 빈도가 줄어들어 Flicker의 영향도 완화됨을 기대할 수 있다. 그러나 스위칭 매핑된 코드에서도 인접한 알파벳의 연속된 '0' 발생으로 인한 순간적인 Flicker 현상이 발생한다. 예를 들어 [1 1 1 1 0 0], [0 0 1 1 1 1]의 순서로 배열된 단어의 경우 '0'이 연속적으로 존재하는 구간이 생기기 때문이다.

#### 4. 시뮬레이션 결과

제안 시스템의 성능을 효과적으로 평가하기 위해서, 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하였다. 제안 시스템의 효과를 평가하기 위해서, 첫 번째로 '0'과 '1'의 발생 비율에 따른 Dimming Level을 측정하였고, 두 번째는 '0'이 연속적으로 발생할 때 생기는 플리커 현상의 발생 빈도를 평가하였으며, 마지막으로 기존 코드 할당 기법과 제안 코드 할당 기법을 적용한 가시광통신 시스템의

BER 측정을 수행하였다.

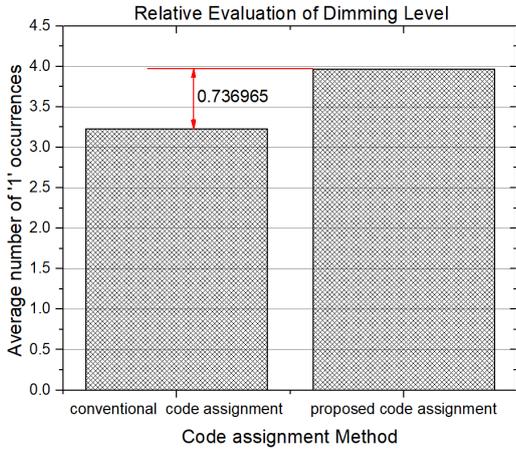


Fig. 4. Average number of '1' occurrences

Fig. 4는 기존의 시스템과 제안 알고리즘을 적용한 시스템의 '1'의 발생 빈도에 따른 Dimming Level을 측정하였다. 제안 알고리즘을 적용하였을 때, Dimming Level의 측정 값인 '1'의 발생 빈도율이 평균 3.963687로 기존의 Binary Code를 적용하여 전송하였을 때의 3.226723 보다 0.736965만큼 증가 되어 Dimming Level이 향상 되었음을 알 수 있다.

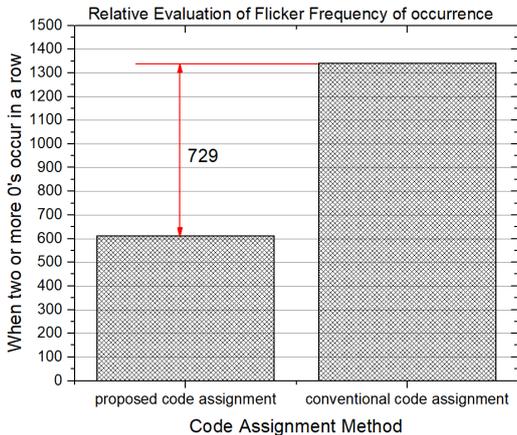


Fig. 5. When two or more '0' occur in a row

Fig. 5는 제안 시스템과 기존 시스템의 Flicker 발생 빈도를 측정한 결과로, 제안 알고리즘을 적용하였을 때와 기존 시스템을 적용하였을 때의 적용한 Code set에 따른 연속적인 '0'의 발생률을 보여준다. '0'이 연속 2개 혹은 그 이상 발생 될 경우는 제한한 코드 할당 알고리

즘을 적용하였을 경우가 기존의 코드를 사용하였을 경우에 비해 729번 줄어들어 플리커 현상을 줄이는 데에 효과가 있음을 확인하였다.

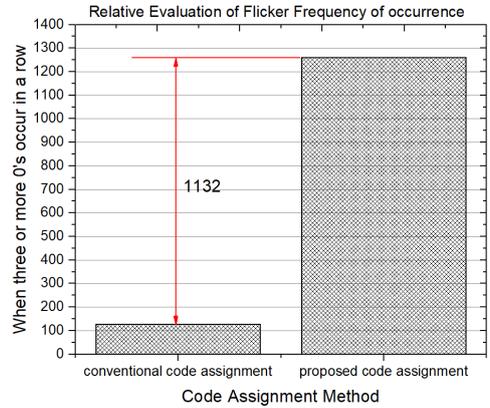


Fig. 6. When three or more '0' occur in a row

또한, Fig. 6은 제안 시스템과 기존 시스템의 Code set에서 3번 이상 연속적인 '0' Data 발생률을 보여준다. 이 역시, 기존 시스템보다 제안 알고리즘을 적용하였을 경우 3번 이상 '0'이 발생하는 빈도가 1132회 줄어든 것을 확인할 수 있다. 이러한 플리커 현상을 줄이는 기법들은 플리커 현상으로 인하여 발생하는 눈부심, 두통등의 현상을 줄일 수 있다.

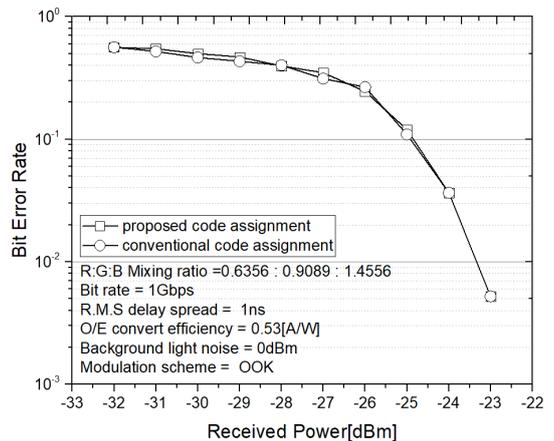


Fig. 7. BER performance evaluation of existing and proposed systems

Fig. 7은 제안 시스템과 기존 시스템의 동일한 조건에서 BER 성능을 나타낸다. 결과에서 보듯이, 기존 시스템과 제안 알고리즘 적용 시스템의 BER 성능에 큰

변화가 없고 두 시스템의 성능이 거의 같은 것을 볼 수 있다. 따라서, 제안 시스템의 경우 동일한 BER 성능을 가지면서 복잡도 증가 없이 Dimming level 향상과 Flicker 완화 효과를 가짐을 확인하였다.

## 5. 결론

본 논문에서는 가시광 통신 시스템에서 통신과 조명을 동시에 사용할 때, 조명의 성능 향상을 위한 코드 할당 알고리즘을 연구하였다. 기존의 시스템은 문자열에 따른 문자 발생 빈도에 따라 조명의 성능이 심각하게 저하되거나 Flicker 현상이 발생하게 된다. 본 연구를 통해, 이러한 현상을 완화하고 Dimming level을 향상시키는 결과를 도출하였다. 시뮬레이션 결과에서 보이듯이, 전체 통신 성능에 큰 영향을 주지 않으면서, '1'의 발생 빈도가 유의미하게 증가하였고 반대로 연속적인 '0' 빈도율이 감소하여 시스템의 조명 성능이 크게 향상된 것을 보였다. 향후에는 이를 확대 적용하여 다수의 LED를 사용하는 환경에서 다중 조명의 성능향상기법을 다각도로 연구할 필요가 있다.

## REFERENCES

- [1] S. Shao, A. Khreishah & I. Khalil. (2016). Joint link scheduling and brightness control for greening VLC-based indoor access networks. *Journal of Optical Communications and Networking*, 8(3), 148-161.
- [2] Y. Hong, L. K. Chen & J. Zhao. (2020). Channel-Aware Adaptive Physical-Layer Network Coding Over Relay-Assisted OFDM-VLC Networks. *Journal of Lightwave Technology*, 38(6), 1168-1177.
- [3] R. Kisacik, M. Y. Yagan, M. Uysal & A. E. Pusane. & A. D. Yalcinkaya. (2021). A New LED Response Model and its Application to Pre-Equalization in VLC Systems. *IEEE Photonics Technology Letters*, 33(17), 955-958.
- [4] X. Liu, Z. Na, Y. Wang & T. S. Durrani. (2021). Joint Resource Allocation for a Novel OFDM-Based Multicolor VLC Network. *IEEE Networking Letters*, 3(3), 100-104.
- [5] C. Yeh, C. W. Chow & L. Y. Wei. (2019). 1250 Mbit/s OOK Wireless White-Light VLC Transmission Based on Phosphor Laser Diode. *IEEE Photonics Journal*, 11(3), 1-5  
DOI : 10.1109/JPHOT.2019.2911411.
- [6] K. J. Lee. (2018). Dimming Level Control Technique for Lighting / Communication Functions in Visible Light Communication Systems. *Journal of Convergence for Information Technology*, 8(5), 153-158.
- [7] D. G. Kim. (2014). Current status and direction of 5G mobile communication. *R&D Information and Communication*. 23(28).
- [8] A. Z. Suriza, S. Akter & M. Shahnan. (2017). Preliminary analysis of dimming property for visible light communication. *IEEE 4th International Conference on Smart Instrumentation Measurement and Application (ICSIMA)*, 1-5
- [9] Y. Tanaka, T. Komine, S. Haruyama & M. Nakagawa. (2003). Indoor visible light data transmission system utilizing white LED lights. *IEICE TRANS. COMMUN*, E86B(8), 2440-2454.
- [10] K. J. Lee, H. D. Seo, D. H. Han & K. S. Lee. (2013). Improving the QoS using the Modulation and Coding Selection scheme by temperature characteristic of LED in the LED-ID system. *Journal of ITS*, 12(1), 66-74
- [11] K. T. Kim & K. J. Lee. (2017). Performance Evaluation and Analysis of Zero Reduction Codes for Effective Dimming Control in Optical Wireless Communications using LED Lightings. *Journal of Convergence for Information Technology*, 7(3), 97-103.
- [12] S. Shao , A. Khreishah & I. Khalil. (2016). Joint link scheduling and brightness control for greening VLC-based indoor access networks. *IEEE/OSA Journal of Optical Communications and Networking*, 8(3), 148.
- [13] Z. Feng, C. Guo, Z. Ghassemlooy & Y. Yang. (2018). The Spatial Dimming Scheme for the MU-MIMO-OFDM VLC. System *IEEE Photonics Journal*, 10(5), 1-3.  
DOI: 10.1109/JPHOT.2018.2866706
- [14] K. H. Lee & H. C. Park. (2011). Modulations for Visible and Light Communications With Dimming Control. *IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS*, 23(16), 1136-1138.
- [15] Y. H. Liu , Z. Z. Yang & S. C. Wang. (2010). A novel sequential-color RGB-LED backlight driving system with local dimming control and dynamic bus voltage regulation. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 56(4), 2445-2452.

이 규 진(Kyu-Jin Lee)

[정회원]



- 2005년 2월 : 경희대학교 전자공학과 공학사 (전자공학전공)
- 2007년 2월 : 경희대학교 전파통신공학과 공학석사 (전파통신공학전공)
- 2011년 2월 : 경희대학교 전자전파공학과 공학박사 (전자전파공학전공)
- 2012년 2월 : 경희대학교 전자전파공학과 학술연구교수
- 2013년 3월 ~ 현재 : 세명대학교 전자공학과 교수
- 관심분야 : OFDM, MC-CDMA, VLC, MIMO
- E-Mail : kyujin@semyung.ac.kr

한 두 희(Doo-hee Han)

[정회원]



- 2011년 9월 : 경기대학교 전자공학과 공학사 (전자공학전공)
- 2013년 9월 : 경희대학교 전파통신공학과 공학석사 (전파통신공학전공)
- 2019년 9월 : 경희대학교 전자전파공학과 공학박사 (전자전파공학전공)
- 2021년 3월 ~ 현재 : 한라대학교 ICT융합공학부 교수
- 관심분야 : OFDM, MC-CDMA, VLC, MIMO
- E-Mail : doohee.han@halla.ac.kr